

**Jiří LABUDEK<sup>1</sup>, Lubomír MARTINÍK<sup>2</sup>**

**AEROGEL – MATERIÁL BUDOUCNOSTI PRO STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ**

**AEROGEL – MATERIAL OF THE FUTURE FOR CIVIL ENGINEERING**

**Abstrakt**

Aerogel je pevná látka s nejnižší známou hustotou. Snese až 2000x větší zatížení než je jeho vlastní hmotnost. Má extrémně nízkou tepelnou vodivost, materiál je tedy velmi vhodný pro omezení tepelných ztrát budov. Jeho teplota tání je cca 1200 °C. Dobře tlumí vibrace a zvuk. Aerogel je jediná hmota s výraznými tepelně izolačními schopnostmi, která je současně také čirá. Díky těmto vlastnostem má patnáct záznamů v Guinnessově knize rekordů. Z těchto důvodů je možno aerogel považovat za materiál budoucnosti nejen v oblasti stavebnictví, a proto je nutné se tímto zajímavým materiálem zabývat již nyní. Jak vyplývá z výsledků našich výpočtů, při budoucím využití aerogelu jako náplně do tepelně izolačního zasklení dojde u lehkých obvodových plášťů k výraznému snížení součinitele prostupu tepla, přičemž namodralé zabarvení aerogelu není vždy na škodu.

**Klíčová slova**

Aerogel, Nanogel, tepelná vodivost, hustota, hmotnost.

**Abstract**

Aerogel is a solid with the lowest known density. It stands up to 2000 times greater load than its own weight. It has extremely low thermal conductivity; the material is very suitable to limit the heat losses of buildings. Its melting temperature is 1200 °C. Well dampens vibration and sound. Aerogel is the only compound with significant thermal insulation capabilities, which is currently well clear. Thanks to these properties have fifteen records in the Guinness Book of Records. For these reasons, it is possible to consider aerogel as a material of the future not only in construction, and therefore it is necessary to deal with this interesting material now. The future use of aerogels as filler in thermal insulating glazing will cause a significant reduction of heat transfer coefficient in lightweight claddings, this follows from the results of our calculations. The bluish color of aerogels is not always a bad thing.

**Keywords**

Aerogel, Nanogel, thermal conductivity, density, weight.

**1 ÚVOD**

Aerogel byl poprvé vytvořen Samuelem Stephensem Kistlerem v roce 1931 z běžné želatiny [6]. Tehdejší procesy byly příliš nákladné a trh drahé materiály nepřijal. Jeho současná podoba s využitím křemíku vznikla v 90. letech 20. století jako výsledek práce NASA (National Aeronautics

---

<sup>1</sup> Ing. Jiří Labudek, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: jiri.labudek@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Lubomír Martiník, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: lubomir.martinik@vsb.cz.

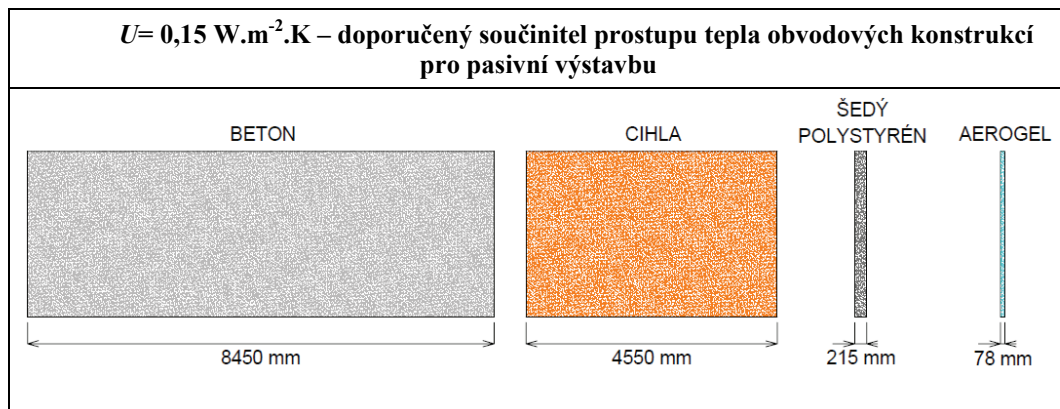
and Space Administration). V současnosti se vyskytují aerogely na bázi oxido – křemičité, karbonové, oxido – hlinité, atd. Cena energie roste a aerogel, který je nezávadný a inertní se schopností zmenšit tloušťku tepelné izolace na třetinu, se jeví jako zajímavá alternativa do budoucna. V tomto příspěvku budou další výpočty vztaženy k oxido-křemičitým aerogelům.

## 2 TECHNICKÉ PARAMETRY AEROGELU

Vnitřní struktura aerogelu se skládá z křemičitých dutých koulí o velikosti řádově několika nanometrů.

Tab. 1: Technické parametry aerogelu a porovnání s expandovaným polystyrenem EPS

	Aerogel	Expandovaný polystyren
Hustota	cca 3-350 kg.m <sup>-3</sup>	cca 16 kg.m <sup>-3</sup>
Podíl pevné látky	0,13 – 0,15 %	-
Pevnost v tlaku	16 kPa	> 70 kPa
Rychlost zvuku	100 m.s <sup>-1</sup>	2 320 m.s <sup>-1</sup>
Velikost mikropórů	2-50 nm	-
Teplotní tolerance	do 500 °C	do 80 °C
Teplota tání	1200 °C	-
Koeficient teplotní roztažnosti	2 – 4.10 <sup>-6</sup> m.K <sup>-1</sup>	5 - 7.10 <sup>-5</sup> m.K <sup>-1</sup>
Součinitel tepelné vodivosti	0,004–0,030 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	0,033-0,044 W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>



Obr. 1: Porovnání tloušťky různých materiálů při  $U = 0,15 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}$

## 3 FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI AEROGELU

Aerogel je látka na křemíkové bázi, často nazývaná zmrzlý dým či modrý dým. Jde však o tuhou látku, na dotyk podobnou pěnovému polystyrenu. Aerogel je pevná látka s nejnižší známou hustotou. Obsahuje více než 95 % vzduchu, zbytek připadá na SiO<sub>2</sub> (křemen), což je běžný nerost na Zemi. Aerogel lze vyrobit ze sloučenin uhlíku, hliníku, chromu, zinku a cínu. Výroba je zajišťována procesem vysoušení gelu, tvořeného směsí oxidu křemičitého, kapalného oxidu uhličitého a etanolu v extrémních podmínkách. Z této směsi se za velkého tlaku odstraní veškerá kapalná složka. Jedině tak nedojde ke zdeformování křemičitého gelu a zhroutení křemíkových buněk. Jeho porozita přesahuje 95 % a má velmi širokou distribuci pórů od 10<sup>-10</sup> do 10<sup>-6</sup> m [6]. Jelikož má aerogel otevřené póry, plyny a kapaliny jím mohou procházet s minimálními omezeními.

Při běžných teplotách je aerogel nehořlavý a do 500 °C se výrazně nemění jeho tvar ani objem, při vyšších teplotách se smršťuje. Teploty pro běžné použití jsou od -200 °C do 250 °C. Volné částice se zapalují při cca 400 °C a teplota tání je cca 1200 °C. Toho se využívá i u zasklení oken raketoplánů a kosmických stanic, oken do průmyslových pecí a reaktorů s teplotami do 800 °C. Aerogely velmi dobře brání i toku elektrické energie, dobře tlumí vibrace a zvuk. Aerogely pohlcují zvuk nízkých frekvencí od 50 do 1000 Hz. Okna a panely s 16 mm vrstvou aerogelu absorbují až 25 % zvukové energie. První zkušenosti s tlumením hluku v okolí letišť a dálnic jsou rozhodně pozitivní. Nejcharakterističtější optickou vlastností aerogelů je jejich průsvitnost. Nejsou však zcela průhledné kvůli jejich nestejnorodosti. Propustnost slunečního záření aerogelu se pohybuje v rozsahu  $\tau = 0,85$  až  $0,95$  podle tloušťky vrstvy aerogelu. V příspěvku je uvažováno pouze s tepelně-izolačními vlastnostmi aerogelu, nikoliv s pohltivostí, odrazivostí a emisivitou u transparentních prvků obvodových plášťů.

Typická vynikající tepelná vodivost křemíkových aerogelů je cca  $\lambda = 0,017 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  ( $\lambda = 0,015\text{--}0,020 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , což je hodnota řádově nižší než u skelných vláken. Pro srovnání, vzduch má tepelnou vodivost  $0,026 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ). U Nanogelu je tepelná vodivost dle provedení  $\lambda = 0,009\text{--}0,022 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . Ve srovnání s pěnovým polystyrenem ( $\lambda = 0,036 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) a novějším Neoporem ( $\lambda = 0,033 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ), stabilizovaným proti úniku tepelného záření mikročásticemi grafitu, je nejvýše poloviční až čtvrtinová.

#### 4 OBTÍŽE S VYUŽITÍM AEROGELU

Jeho průmyslovému využití brání zejména fakt, že při styku s vodou se mění opět na gel. Je také nutno říci, že v současnosti není aerogel dokonale čirý, ale vyskytuje se s modrým nádechem, což omezuje současné využití v transparentních pláštích. Avšak najdou se aplikace ve stavební praxi, kde namodralá barva není na škodu, dokonce může být žádoucí například v bazénových halách.



Obr. 2: Krytý plavecký bazén Kraví Hora, Brno [9]

Navzdory teoretickým předpokladům se nikdy nepodařilo v prostoru s gravitací vyrobit aerogel přesně definovaných vlastností. Díky tomu se zdálo být prakticky nemožné připravit sériovou výrobu aerogelu pro technické využití. Potíže byly zejména s dodržením velikosti pórů v materiálu a poměru a rozměrů pevných částí. Výzkumem bylo zjištěno, že tento problém lze řešit výrobou ve stavu beztláče. Cílem výzkumů není vyrábět unikátní materiál ve stavu beztláče, protože při současném stavu kosmonautiky by výroba nemohla být hospodárná. Při kosmických letech však mají být získány poznatky o tom, které faktory a jakým způsobem ovlivňují velikost částic aerogelu, jeho vnitřní strukturu a optické vlastnosti. Jakmile se to podaří, bude na světě zcela nový produkt, který otevře dosud netušené možnosti. Proto je zde snaha zjistit další možnosti pomocí výzkumu ve vesmíru a přinést průmyslu poznatky, které by umožnily hospodárnou výrobu tady na Zemi. První experimenty ve stavu beztláče byly provedeny v roce 1996, pomocí raket Starfire při jejich krátkých suborbitálních letech. Bylo prokázáno, že materiál má čtyřikrát až pětikrát lepší parametry než při výrobě na zemi.

## 5 PERSPEKTIVY PRO VYUŽITÍ VE STAVEBNÍM INŽENÝRSTVÍ

Jelikož má aerogel výborné tepelně izolační vlastnosti (dochází k minimálnímu úniku tepla), při standardních okrajových podmínkách nemůže dojít ke kritické povrchové teplotě a tak nedojde ke kondenzaci vodních par. Z těchto důvodů tedy nedochází k mlžení a rosení okenních prvků.

Na rozdíl od plynem plněných či vakuovaných oken u oken plněných aerogelem jejich tepelný odpor časem neklesá. U plynem plněných oken je postupně snižování tepelného odporu způsobeno dlouhodobým únikem inertního plynu. Plnění dvojskla inertním plynem je v dnešní době již na hranici svých možností, zatímco aerogel má potenciál docílit v budoucnu ještě lepších vlastností.

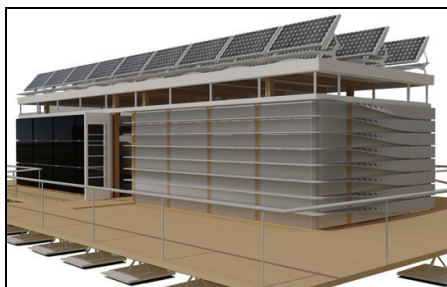
S postupným vývojem procesů výroby se cena aerogelů stává přijatelnou. Vzpomeňme na dobu, kdy těsnicí silikony začínaly jako nesmírně drahé a vzácné materiály.

*„Závažnějším problémem se v budoucnosti stane váha. Některé konstrukce budou mít oproti těm dnešním poloviční hmotnost. Výroba a objem používaných materiálů rozhodně ovlivňuje životní prostředí...“*

*Jan Kaplický (2005)*

Zatím nejslibnějším použitím aerogelu se jeví tepelná izolace. Materiál má výrazně lepší izolační vlastnosti než sklo a přitom váží jen tisícinu jeho hmotnosti. To otevírá možnosti využití pro extralehké obvodové pláště, které budou výrazně snižovat statické zátěže na nosném systému budovy.

Aerogel je jediný materiál, který kromě výrazných tepelně izolačních schopností je i průsvitný až čirý. Využitelnost aerogelu je především v transparentních pláštích budov a v budoucnu, při zlepšení transparentnosti materiálu, i v zasklení oken. Transparentní silikonový aerogel by byl velmi vhodný jako tepelná izolace pro okna, významně omezující tepelné ztráty budov. Švédská firma Airglass vyvíjí nový materiál pro zasklívání oken, složený z vrstvy aerogelu vakuově uzavřené mezi dvě desky skla. Výroba je zatím ve fázi poloprovozu, měsíčně se vyrobí 3–6 m<sup>2</sup>, které zatím slouží pouze k testování. Cesta je to však velmi nadějná [4]. Komerčně, byl aerogel použit v granulované formě pro zlepšení izolačních vlastností střešních oken. První zkušební použití aerogelu jako izolátoru je v Georgia Institute of Technology's Solar Decathlon House (viz obr. 3.) kde je použit jako polotransparentní střecha [6].



Obr. 3: Solar Decathlon House [10]

Unikátní je schopnost průsvitných vrstev aerogelu zachytit denní světlo v horších světelných podmínkách a rozptýlit je v prostoru jako difúzní tam, kam přímo nedopadá. Jsou ideálním řešením pro osvětlení muzeí, galerií, knihoven a sportovních hal. Tohoto poznatku již využívá několik výrobců osvětlovacích panelů z plochých nebo komůrkových desek z polykarbonátu plněných aerogelem. Skla navíc pohlcují tepelné záření. U 13 mm silné vrstvy aerogelu je to až 27 % tepelného záření [7].

Firma Aspen Systems zkouší příkrývky Spaceloft a tkaniny Aerotex ve vývojovém programu s Kennedy Space Center na Floridě. Materiály nepodléhají degradaci při dlouhodobém užití, při styku se vzduchem či vlivem záření, odpuzují vodu, nepodléhají korozi a nejsou toxické [7]. Ve vzduchu se téměř vznášají díky své nízké objemové hmotnosti. Jsou ekologické a jako materiál založený na SiO<sub>2</sub> snadno recyklovatelné. Průmyslově se vyrábí jen na několika místech na světě. Podle prvních ohlasů se zdá, že Nanogel čeká podobná budoucnost jako před lety membrány Gore-Tex [7].

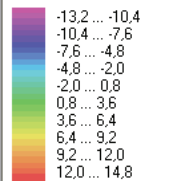
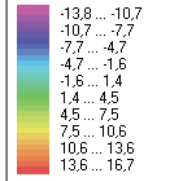
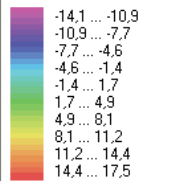
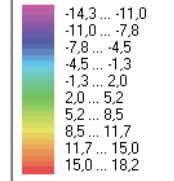




Izolační a mechanické vlastnosti nové hmoty se uplatní v dopravních prostředcích všeho druhu od automobilů až po letadla a rakety. Velký vnitřní povrch pórů je zase výhodný pro výrobu filtrů a katalyzátorů. Odborníci NASA zase věří ve skvělé možnosti aerogelu při stavbě kosmických lodí, orbitálních stanic a planetárních základen.

## 6 PERSPEKTIVY AEROGELŮ PRO VYUŽITÍ V TRANSPARENTNÍCH PLÁŠTÍCH

Tepelná ochrana budov je v dnešní době nedílnou součástí návrhu všech objektů. Požadavky na úspory energie na vytápění vyžadují dostatečné zateplení všech obalových konstrukcí objektů. Instalace kvalitních oken s odpovídajícím tepelně izolačním sklem je v dnešní době nutností. Snížení tepelně izolačních vlastností oken z důvodů úniku plynové výplně je proto nežádoucí a znamenala by zvýšené nároky na vytápění a tím i finanční ztráty pro majitele objektu.

V současné době je nejobvyklejší použití izolačního dvojskla, které při použití inertních plynů v zasklení dosahuje součinitele prostupu tepla až  $U_g = 0,5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ . Tato hodnota je dosažena použitím pokovení skla ze strany interiéru a také plynovou výplní, nejčastěji argonem. Součinitel prostupu tepla stejného dvojskla se vzduchovou výplní je cca  $U = 1,4 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ . Pokud by plynová izolační náplň z prostoru mezi skly unikla, výrazně by se snížily tepelně izolační vlastnosti dvojskla. Plynové výplně izolačních skel zajišťují spolu se speciální úpravou skel dostatečnou tepelnou izolaci a zabraňují nežádoucím tepelným ztrátám. V průběhu stárnutí okna může docházet k úniku plynové izolační náplně z prostoru mezi skly. Množství plynu, které může okny uniknout, udává ČSN EN 1279-3 [1]. Ta stanovuje maximální přípustný únik 1 % plynové výplně za rok. Snižování hodnoty „ $U_g$ “ během životnosti lze prokázat měřením či teoreticky vypočítat.

Tab. 2: Porovnání dvojskla 4-16-4 za stejných okrajových podmínek s různou výplní [11,12]

Vzduch	Argon	Aerogel	Krypton
$\lambda = 0,0262 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\lambda = 0,016 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\lambda = 0,012 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\lambda = 0,009 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Vzduchová výplň	Argonová výplň	Aerogelová výplň	Kryptonová výplň
$U = 1,26 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	$U = 0,85 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	$U = 0,66 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	$U = 0,51 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
<p>LEGENDA:</p> <p>DVOJSKLO - VZDUC...</p> <p>Teplotní pole [C]:</p>  <p>◆ T si=-13,20 C; fR si=0,945 ◆ T si=14,75 C; fR si=0,836</p>	<p>LEGENDA:</p> <p>DVOJSKLO - ARGON</p> <p>Teplotní pole [C]:</p>  <p>◆ T si=-13,79 C; fR si=0,966 ◆ T si=16,68 C; fR si=0,890</p>	<p>LEGENDA:</p> <p>DVOJSKLO - AEROG...</p> <p>Teplotní pole [C]:</p>  <p>◆ T si=-14,06 C; fR si=0,974 ◆ T si=17,54 C; fR si=0,914</p>	<p>LEGENDA:</p> <p>DVOJSKLO - KRYPT...</p> <p>Teplotní pole [C]:</p>  <p>◆ T si=-14,27 C; fR si=0,986 ◆ T si=18,23 C; fR si=0,934</p>
			

Cena za moderní okna je značná a proto by měla být zajištěna jejich funkčnost po dobu životnosti danou výrobcem. Bohužel je velmi obtížné zjistit, kolik plynu v meziskelním prostoru je doopravdy a to už nehovoříme o nějakém časovém horizontu. Skla bývají obvykle plněná

z 90 - 95% inertním plynem za běžného atmosférického tlaku. Výrobci udávaný maximální únik plynu je do 0,5 % za rok. Životnost zasklení se počítá asi 20 - 25 let. Základním významem použití inertního plynu v meziskelním prostoru izolačních skel je jeho nižší tepelná vodivost ve srovnání se vzduchem, tedy schopnost poskytnout větší odpor plynu proti přestupu tepla. Zjednodušeně lze tuto vlastnost inertních plynů vysvětlit tím, že molekuly plynů tohoto typu zásadně nevytváří žádné molekulární struktury mezi sebou navzájem ani s částicemi jiných plynů a striktně se vyskytují v jednomolekulárním uspořádání [8]. Rychlost difúze, respektive únik inertního plynu a jeho nahrazení okolním vzduchem, a tím i snížení koncentrace inertního plynu v prostoru mezi skly, má významný vliv na tepelně technické, i akustické parametry izolačních skel.

Výpočtově je prokázáno, že zhoršení součinitele prostupu tepla  $U_g$  při změně koncentrace z 90/10 na 60/40 je u argonu 7,3 %, u kryptonu 13,5 %. Optimální šířka rámečku není pro oba plyny (argon a krypton) stejná. V případě argonu vychází nejlépe šířka 16 mm, u kryptonu 12 mm. Pro ilustraci uvádíme diferenciaci  $U_g$  izolačních dvojskel s plněním různými inertními plyny ve variantních koncentracích [8].

Tab. 3: Závislost  $U_g$  na koncentraci plynu v meziskelním prostoru

Izolační dvojsklo Low - E 4mm – 12mm - Float 4mm					
	$U_g$ [W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]				
	100%	90%	75%	50%	25%
<b>Vzduch</b>	1,63				
<b>Argon</b>	1,27	1,31	1,36	1,45	1,54
<b>Krypton</b>	1,00	1,04	1,10	1,24	1,42

Součinitel prostupu tepla je základní veličinou charakterizující tepelně izolační vlastnosti stavebních konstrukcí. Postup výpočtu součinitele prostupu tepla lehkých obvodových plášťů (dále LOP) je uveden v ČSN EN ISO 13947 [2]. Definovány jsou dvě základní metody výpočtu. Metoda celkového hodnocení, která pracuje s ekvivalentními součiniteli prostupu tepla tepelných vazeb, a metoda hodnocení po částech, která je analogií výpočtu součinitele prostupu tepla okenních konstrukcí.

Vzhledem k omezenému rozsahu příspěvku se podrobněji podíváme jen na metodu celkového hodnocení, která je jednodušší, pro praktické použití většinou výhodnější a přitom má nejširší rozsah použití. Součinitel prostupu tepla LOP se zásadně stanovuje pro charakteristický výsek LOP (viz obr. 4). Početní vztah je opět váženým průměrem součinitelů prostupu tepla provedeným přes dílčí plochy LOP.

V metodě celkového hodnocení se používá vztah:

$$U_{LOP,vz} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_{TJ} \cdot U_{TJ}}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_{TJ}} \quad [W / m^2 K] \quad (1)$$

kde:

- $A_g, A_p$  a  $A_{TJ}$  - jsou pohledové plochy zasklení, plné výplně a tepelné vazby v charakteristickém výseku LOP v m<sup>2</sup> (obr. 4)
- $U_g, U_p$  a  $U_{TJ}$  - jsou příslušné součinitele prostupu tepla zasklení, plné výplně a tepelné vazby ve W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>.

Početní vztah je váženým průměrem součinitelů prostupu tepla provedeným přes dílčí plochy LOP. Vliv tepelných vazeb v místě uložení zasklení, plné výplně nebo okna do sloupku/příčniku se projeví v hodnotě součinitele prostupu tepla tepelné vazby  $U_{TJ}$ . Do této veličiny se tedy promítnou



Běžné rastrové fasádní konstrukce mají koeficient tepelné vodivosti rámu  $U_f \approx 2,2 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ . V systému fasádních konstrukcí jsou k dispozici také profily s přerušným tepelným mostem. Díky přerušení tepelného mostu je dosaženo hodnot součinitele prostupu tepla rámem  $U_f = 1,00 - 1,40 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ . Obecně platí, že příčník a sloupek mají odlišné tepelné technické parametry. Tyto hodnoty s velkou rezervou také splňují požadavky normy ČSN 73 0540-2 [3], která uvádí hodnotu  $U_f = 2,0 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  jako nejvyšší přípustnou. Kvalitní rám musí být doplněn také kvalitním zasklením. Pro zasklívání s nízkoemisivním sklem a pokovením včetně použití inertních plynů s nízkou tepelnou vodivostí (Argon, Krypton) lze dosáhnout výjimečných hodnot koeficientu tepelné propustnosti transparentní části a to až  $0,5 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

$$U_f = 1,40 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

$$U_{g,yz} = 1,20 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

$$U_{g,ag} = 0,70 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

$$A_f = 0,576 \text{ m}^2 \quad \dots 7\% \text{ LOP} - \text{viz obr. 5.}$$

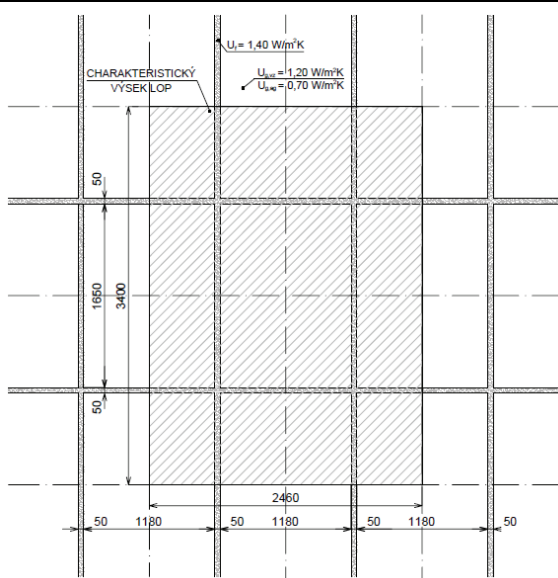
$$A_g = 7,788 \text{ m}^2 \quad \dots 93\% \text{ LOP} - \text{viz obr. 5.}$$

$$U_{LOP,vz} = \frac{\sum A_{g,vz} \cdot U_{g,vz} + \sum A_f \cdot U_f}{\sum A_{g,vz} + \sum A_f}$$

$$U_{LOP_{vz}} = 1,20 \quad \text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$

$$U_{LOP,ag} = \frac{\sum A_{g,ag} \cdot U_{g,ag} + \sum A_f \cdot U_f}{\sum A_{ag} + \sum A_f}$$

$$U_{LOP_{ag}} = 0,75 \quad \text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$$



Rozdíl mezi  $U_{LOP,vz} = 1,20 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  a  $U_{LOP,ag} = 0,75 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  je plných 37%. To znamená, že transparentní fasáda provedená z dvojskla plněného aerogelem má o 37% lepší tepelně-technické parametry než ze standardního zasklení dvojsklem se vzduchovou výplní.

V doložených výpočtech bylo uvažováno pouze s šířením tepla formou vedení, ostatní složky nelze použitým softwarem zohlednit. Veškeré modely zasklení jsou tedy bez pokovených vrstev a tyto nejsou žádným způsobem zohledněny.

## 7 ZÁVĚR

Podobných multiaplikačních materiálů, jako jsou aerogely, není mnoho. Jejich čas však pravděpodobně teprve přijde a bude záležet na tom, jak rychle a jakým způsobem se bude vyvíjet technologie jejich výroby. Jeden vědecký pracovník NASA dokonce predikoval, že brzy bude aerogel běžný materiál v našem okolí a že bude tak používán, jako dnes plasty [5]. Aerogel bude jistě časem součástí našich domovů stejně jako goretexové oblečení či paropropustné a difuzně otevřené folie. Cena některých komponent z aerogelu se již nyní přiblížila do dostupných cenových hladin především díky poměru cena/výkon. Zdá se tedy, že hlavní možnosti využití aerogelu jsou v jeho tepelně-izolačních vlastnostech. Rozšířením používání aerogelu jako tepelné izolace dojde ke snížení energetické spotřeby, tím také ke snížení emisí skleníkových plynů a omezení znečištění Země [4]. Díky jeho vynikajícím vlastnostem a ekologické nezávadnosti se pravděpodobně aerogel dokáže v dohledné budoucnosti prosadit na trhu.

Závěrem lze říci, že aerogely nás jistě v mnohém překvapí, řada očekávání se postupně začíná naplňovat a zcela určitě jde o materiál, který je předurčen stát se jedním z nejdůležitějších materiálů 21. století.

## PODĚKOVÁNÍ

Príspevek bol vytvorený v rámci projektu „tvorba a internacionalizace špičkových týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB – TUO“ členy výzkumné skupiny katedry prostředí staveb a TZB v rámci tématu „výzkum v oblasti pasivních domů v tuzemských podmínkách s ohledem na transpozici EPBD 2 do národních právních předpisů“.

## LITERATURA

- [1] ČSN EN 1279-3 - Sklo ve stavebnictví - Izolační skla - Část 3: Dlouhodobá metoda zkoušení a požadavky na rychlost unikání plynu a na tolerance koncentrace plynu (2003)
- [2] ČSN EN ISO 13947 - Tepelné chování lehkých obvodových plášťů - Výpočet součinitele prostupu tepla (2007)
- [3] ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky (2007)
- [4] <http://www.enviweb.cz> (15. 11 2011)
- [5] <http://www.aldebaran.cz> (15. 11 2011)
- [6] <http://cs.wikipedia.org> (15. 11 2011)
- [7] <http://www.mmspektrum.com> (15. 11 2011)
- [8] <http://stavba.tzb-info.cz> (15. 11 2011)
- [9] <http://brno.tucnacek.cz> (15. 11 2011)
- [10] <http://solar.gatech.edu/home.php> (15. 11 2011)

## POUŽITÝ SOFTWARE

- [11] TEPLO 2010
- [12] AREA 2010

### Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Pavol Ďurica, CSc., Katedra pozemního stavitelství a urbanizmu, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita v Žiline.

Doc. Ing. Danica Košičanová, PhD., Katedra teorie a techniky prostředí budov, Stavebná fakulta, Technická univerzita v Košiciach.